

声 明

本电子书由中国农业出版社数字出版，相关权利归中国农业出版社拥有。读者、著作权人和（或）依法可以行使著作权的权利人如有疑问，请与中国农业出版社联系：

地址：北京市朝阳区麦子店街 18 号楼

邮编：100026

电话：010-64194921 010-65005894

E-mail:lishanzhao@sina.com

中国农业出版社

机械基础

全国农业广播电视学校教材

QUAN GUO NONG YE GUANG BO DIAN SHI XUE XIAO JIAO CAI



★ 工程类专业

★ 中央农业广播电视学校 组编

★ 中国农业出版社

全国农业广播电视学校教材

机 械 基 础

(工程类专业)

中央农业广播电视学校 组编

中国农业出版社

编写者 张久为
审稿者 董学珠 尹佩禹
责任教师 张博文

编写说明

由中央农业广播电视学校组织编写的全国农业广播电视学校工程类专业文字教材，包括《机械制图》、《机械基础》、《机械制造基础》、《电工基础》、《电机电气控制与供电》、《汽车构造与维修》、《拖拉机》、《农业机械》、《农机管理》、《机电修理》、《电机及其应用》、《电子技术基础》、《农村电力网》、《农村变电站》、《农电管理》、《电工维护安装技术》等，全套共16册。

本套文字教材根据中央农业广播电视学校工程类中等专业指导性教学计划编写，力求使学员达到中等专业教育要求掌握的基本理论、基本知识和基本技能，解决农业工程中的实际问题，为农业经济建设培养应用型中等专业技术人才。

为适应广播电视教学特点，尽量做到文字通俗易懂，且安排了较多的插图和表格，各章后附有本章内容提要 and 复习思考题，书后附复习思考题答案要点和实验实习指导；配合这套文字教材制作有录像、录音教材，并编写了教学辅导材料供教学使用。

本套教材由中央农业广播电视学校张博文、邵明旭任责任教师，负责具体组织编写并按照广播电视学校教学特点对教材内容及其深、广度进行审定，以使教材适合学员学习要求。

《机械基础》是为中央农业广播电视学校工程类中等专业编写的专业基础课教材。内容包括理论力学、材料力学、机械原理和机械零件四门课的一些基础知识。在附录中还附有一个综合性的设计计算课堂作业题目，作为学完本课程后对部分重要内容的复习，以锻炼其综合设计计算能力。

热诚希望广大读者对教材中不妥之处提出宝贵意见，以期进一步修订和完善。

中央农业广播电视学校

1997年7月

目 录

第一章 绪论、基本概念	1
第一节 本课程的基本任务和主要内容.....	1
第二节 机械、机构、构件和零件.....	1
第三节 约束、运动副、运动链、机构自由度.....	3
第四节 刚体和变形固体.....	7
第五节 强度、刚度及稳定性概念.....	8
第六节 内力、应力及应变.....	9
第七节 杆状零件的几种基本变形形式.....	11
第二章 刚体静力学、运动学、动力学	14
第一节 静力学.....	14
第二节 运动学.....	57
第三节 动力学.....	81
第三章 机械零件材料的机械性质	100
第一节 拉伸、压缩时材料的机械性质.....	100
第二节 简单拉、压时的弹性变形能.....	106
第三节 材料的硬度和韧度.....	107
第四节 机械制造中的常用材料及其选择.....	109
第五节 安全系数、许用应力.....	112
第四章 简单变形杆件的强度计算	117
第一节 简单变形杆件的内力及内力图.....	117
第二节 简单变形杆件的应力分析和强度计算.....	134
第五章 组合变形杆件的强度计算	173
第一节 概述.....	173
第二节 二向应力状态分析.....	176
第三节 三向应力状态简述.....	182
第四节 强度理论.....	185
第五节 组合变形杆件的强度计算.....	187
第六章 杆件的变形计算、刚度计算及静不定问题	198
第一节 概述.....	198
第二节 拉、压变形和扭转变形.....	199
第三节 梁在平面弯曲时的变形.....	201
第四节 杆件的刚度计算.....	208
第五节 静不定问题.....	212

第七章 动载荷、疲劳强度	227
第一节 概述.....	227
第二节 冲击载荷.....	229
第三节 疲劳强度.....	233
第八章 压杆稳定	245
第一节 压杆稳定的概念.....	245
第二节 细长压杆的临界压力.....	246
第三节 压杆的临界应力.....	247
第四节 压杆的稳定校核.....	250
第九章 常用机构	255
第一节 平面连杆机构.....	255
第二节 凸轮机构.....	262
第三节 间歇运动机构.....	271
第十章 机械传动	278
第一节 摩擦轮传动.....	278
第二节 带传动.....	280
第三节 链传动.....	289
第四节 齿轮传动.....	292
第五节 蜗杆传动和螺旋传动.....	309
第六节 减速器和无级变速简介.....	319
第十一章 轴及轴系零部件	327
第一节 轴的分类及其应用.....	327
第二节 轴的结构和材料.....	328
第三节 轴的强度与刚度计算.....	331
第四节 滑动轴承.....	334
第五节 滚动轴承.....	343
第六节 联轴器与离合器.....	351
附录 I 平衡与调速简介	359
第一节 转子静平衡与动平衡.....	359
第二节 机械速度波动的调节 (简称调速).....	360
附录 II 弹簧	361
第一节 弹簧的材料和制造.....	361
第二节 圆柱形密圈螺旋弹簧的应力和变形.....	361
附录 III 设计计算作业 (课堂作业)	364
一、作业题目.....	364
二、完成作业的步骤和要求.....	364
三、绘制轴的结构设计图, 标注出主要尺寸.....	365
附录 IV	366
一、中华人民共和国法定计量单位 (GB3100—86摘录).....	366

二、机构运动简图符号表 (GB4460—84摘录).....	366
附录 V 型钢规格表.....	377
表 1 热轧等边角钢 (GB700-79)	377
表 2 热轧不等边角钢 (GB701-79)	381
表 3 热轧普通槽钢 (GB707-65)	384
表 4 热轧普通工字钢 (GB706-65)	385
附录 VI	386
表 1 主要符号表.....	386
表 2 希腊字母读音表.....	387
部分习题答案.....	388
主要参考书.....	397

第一章 绪论、基本概念

第一节 本课程的基本任务和主要内容

《机械基础》是工程类部分专业的一门必修的技术基础课。通过对本课程的学习，将使学员获得学习机械类专业课程所需要的基础理论和基础知识；使学员具有对机械通用零部件进行分析和简单计算的基本能力。

这里所说的基础理论、基础知识和基本能力，包括以下主要内容：

(1) 对简单结构和零部件的受力分析、运动分析和动力学分析。

(2) 对简单受载零件的强度计算、刚度计算和对受压杆件的稳定性计算。

(3) 机械零件设计的基本理论和原则；关于各种机械传动、常用机构和通用零件的工作原理、特点、维护以及正确选用等。

(4) 正确使用有关标准、规范、手册、图表等技术资料 and 进行简单零件尺寸和传动的计算或验算。

以上内容，实际上包括了理论力学、材料力学、机械原理和机械零件四门工科学技术基础课的主要内容。为了学习和掌握现代科学技术，特别是对学习后续的机械类专业课，学习和掌握好这些内容是非常重要的。

学习本课程应以辩证唯物主义为指导，注意理论联系实际，从感性认识出发，联系日常生活和专业工程中的实例，提高到理论上认识和分析。注意对基本概念、基本原理和基本方法的学习，从客观规律、物理意义及实际效应上去理解理论结果和所建立的关系式。同时应当注意培养观察问题、分析问题和解决问题的能力。要认真完成习题作业，讲究学习方法，使学习取得良好效果。

第二节 机械、机构、构件和零件

机械、机构、构件和零件是《机械基础》课程的研究对象。这里先把它们的定义和功能特征介绍如下：

一、机 械

“机械”在汉语词汇中被认为是机器和机构的总称，但在工程用语中则往往把机械和机器混为一谈。本课程不准备对机械和机器在定义上作严格区分，即统称之为机械。

人们为了减轻和代替繁重的甚至是有损于人体的劳动，提高劳动生产率，在各行各业中已经发明创造了各种各样的现代化的机械设备。如动力、运输、工程、建筑、农业、林业、纺织、航空等各类机械，以及机械手、机器人等代替人们操作的近代设备等。在人们生活中，如自行车、缝纫机、家用电器等也在不断完善。总之，在人们生产和生活的广阔范围

内，都在不断地出现着用现代科学技术制造或装备的更现代化、自动化的先进机械设备。

机械的种类虽然多种多样，构造、功能和用途也各不相同，但是从它们总的组成特征来看，都具有三个共同点：

- (1) 由多种构件或零件组合而成；
- (2) 各构件之间有确定的相对运动；
- (3) 能做有用的机械功或实现能量的转换。

下面用图1—1所示单缸内燃机来说明这三个共同点的具体表现。

(1) 它是由缸体 1、活塞 2、连杆 3、曲轴 4、齿轮 5 和 6、凸轮 7、顶杆 8 等构件和零件组合而成。

(2) 由燃气推动活塞作往复运动，并经连杆使曲轴作连续转动；凸轮和顶杆控制着进气阀和排气阀的启闭运动；通过齿轮传动使进、排气阀和活塞之间形成确定的协调运动。

(3) 通过各构件之间确定的协调运动，使燃气的热能转变为曲轴转动的机械能。

另外，从各种机械的主体组成来看，还可以按其功能分为三大部分，即

(1) 动力部分 机械之所以产生运动和做功，都是由这个组成部分提供动力。

(2) 工作部分 是该部机械具体完成人们所提工作要求的部分。

(3) 传动部分 是把原动机或原动力（动力部分）输出的动力和运动，传递到工作部分所经过的各个联系环节和各个传动装置。

如图1—2所示牛头刨床，是由曲柄 5（即由大齿轮和固定在它上面的偏心销所形成）、滑块 2 和 6、导杆 7、滑枕 8、刨头 9、床身 1、小齿轮 4、电动机 3、工作台 10 以及在图中没有画出和没有注明的其他传动部分所组成。

牛头刨床是用来刨削零件表面的机械，它的动力部分就是电动机，即由电动机为它提供完成刨削工作所需的全部动力。对零件进行刨削加工是由滑枕带动刀具的往复运动和工作台的进给运动来完成的。它们实现了人们所提出的加工要求，即称为牛头刨床的工作部分。从电动机到滑枕、工作台，中间要经过各种联系环节和传动装置，如曲柄滑块机构、皮带传动、齿轮传动、螺旋传动以及各种联接件等，这些都属于传动部分。

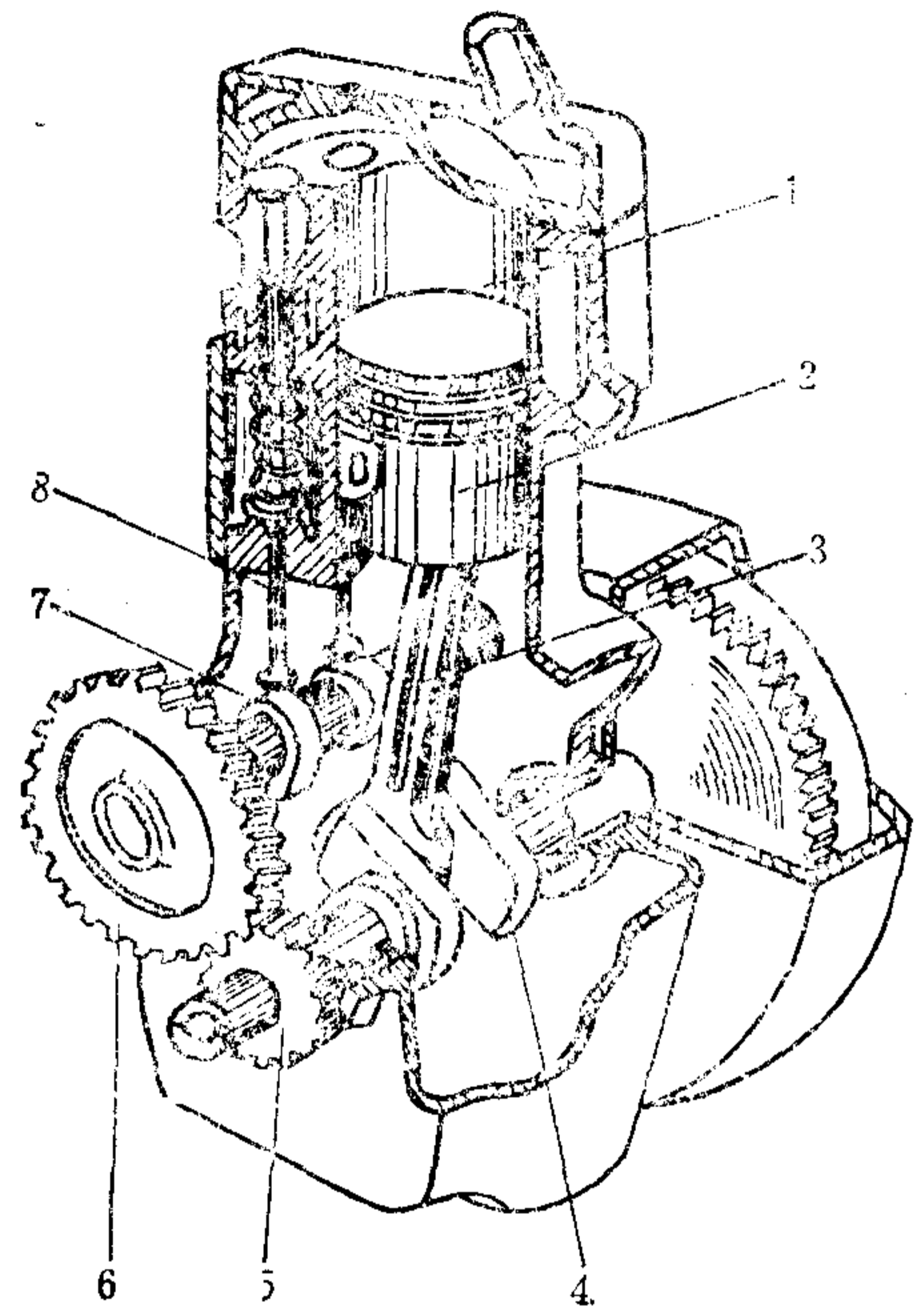


图 1—1

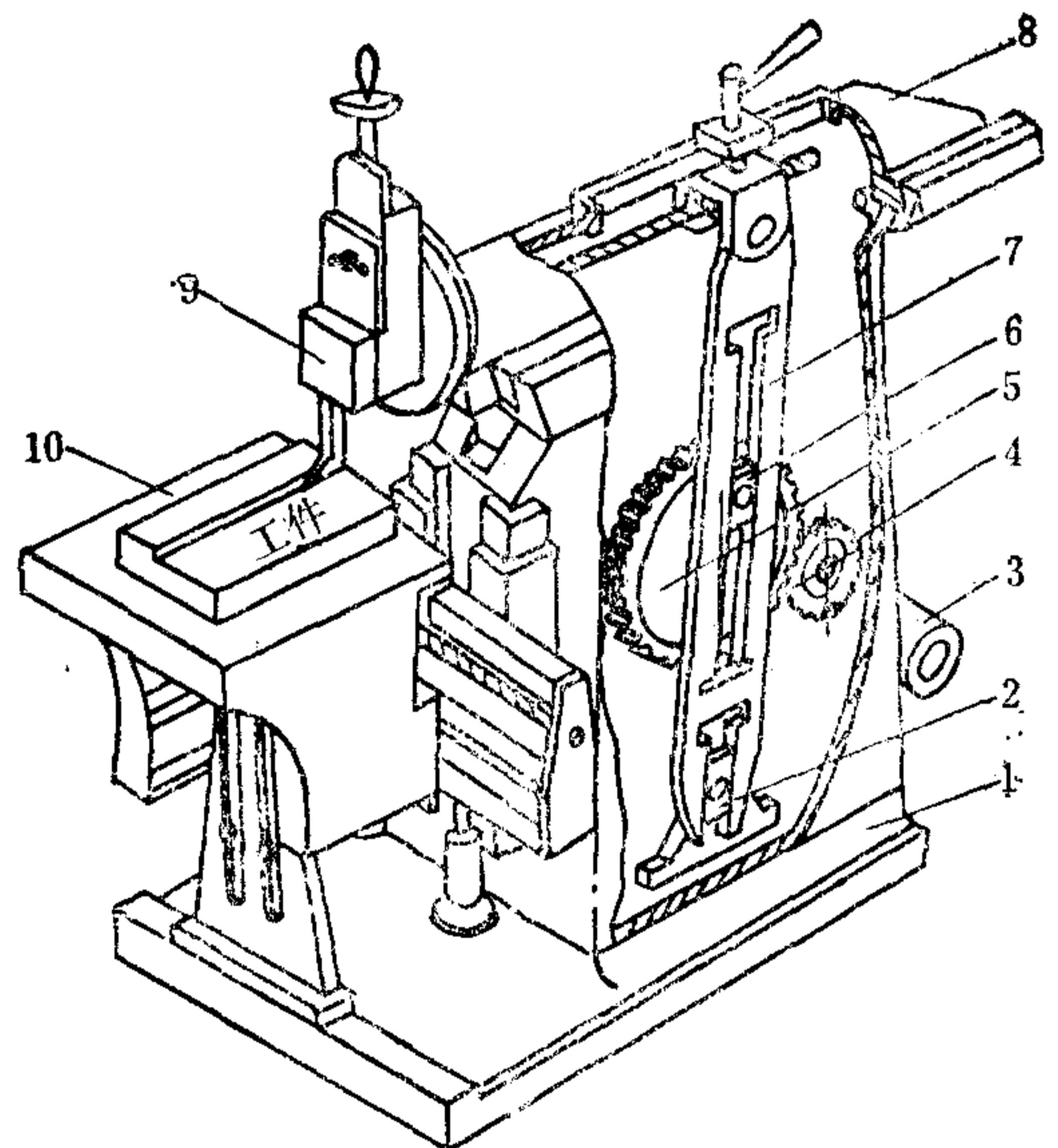


图 1—2

二、机 构

如果把机械看成是最高层次的零件组合，那么机构就是第二层次的零件组合。它的组成特征只具有机械的前两个共同点。即它是由构件或零件组合而成；构件间具有确定的相对运动。机构的主要功能是传递或转变运动的形式（包括改变运动速度、运动方向、运动状态）。如牛头刨床上的皮带传动和齿轮传动，都可称为机构。通过它们既可改变运动（转动）速度又可改变运动方向。又如螺旋传动和导杆滑块也都是传动机构，它们可以把运动状态由转动改变为移动。

三、构 件

机械中的运动单元称为构件。它可以是一个零件，也可以是几个零件固联，构成一个具有确定运动的整体。如图1—3所示齿轮1用键2固定在轴3上，构成了一个随轴转动的整体，也就是构成了一个组成机构的运动单元。这就是一个构件。

四、零 件

是组成机械、机构和构件而不能再进行分割的最小单元。也是加工制造的最小单元。如图1—3中的键、轴和齿轮都是零件。对于各种机械上的各种零件，可以大体上归纳为专用零件和通用零件两种。

专用零件是指那些只用于特定型式机械上的零件。如内燃机的曲轴、活塞、风扇的叶片、耕作机械的犁铧等。关于专用零件的问题，要由相应的专业课程去研究，这里不作讨论。

通用零件是指在各类机械上，只要是同一功能就可以选用的零件，它们具有较方便的互换性和通用性。

对于通用零件，按它们的用途又可分为：

- (1) 联接零件 如螺栓、铆钉、销钉、键等；
- (2) 传动零件 如带传动的皮带、皮带轮，齿轮传动的齿轮，链传动的链条、链轮等；
- (3) 轴及轴系零件 如轴、轴承、联轴器零件等；
- (4) 其它常用零件 如弹簧、垫圈等。

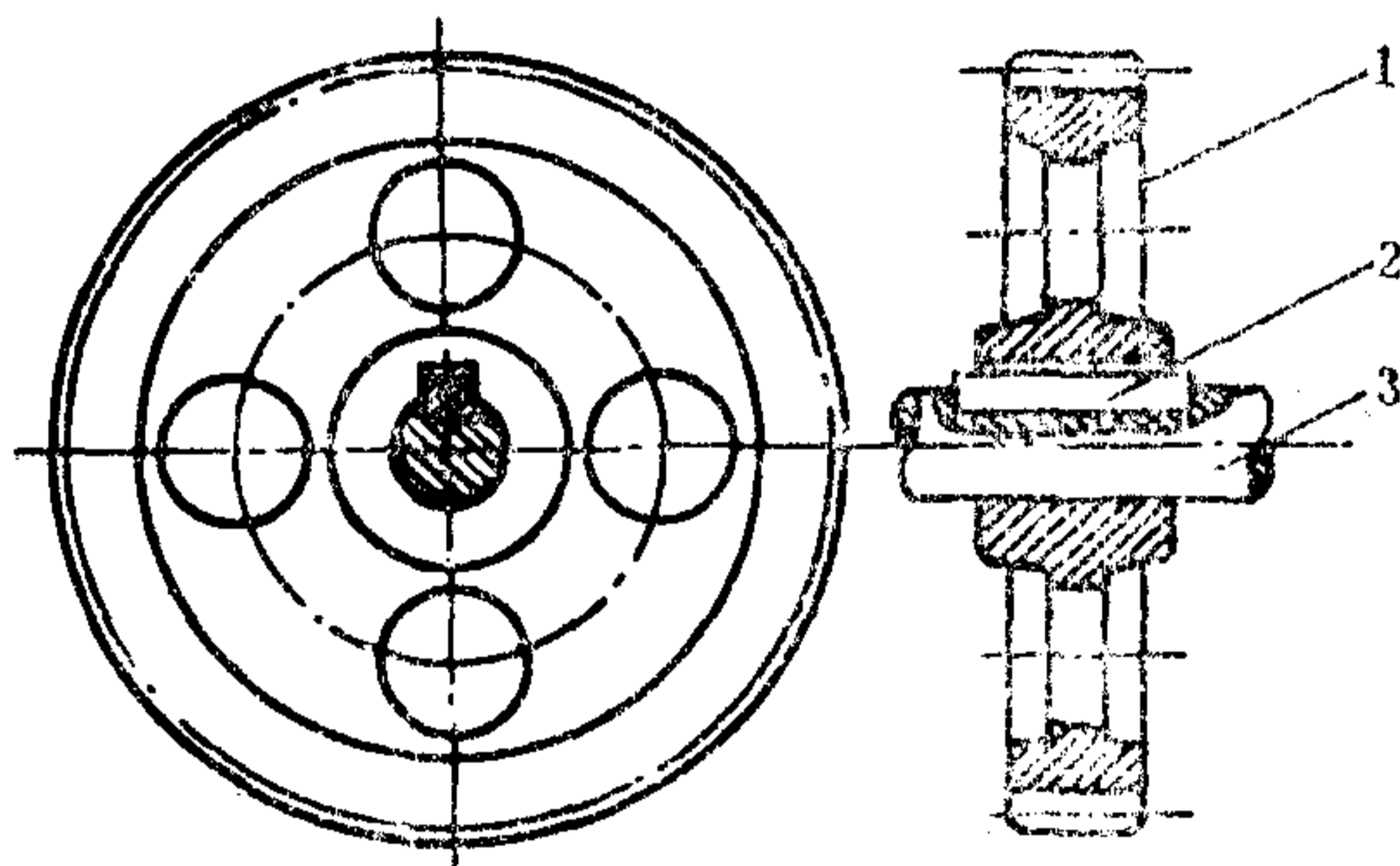


图 1—3

第三节 约束、运动副、运动链、机构自由度

组成机械和机构的构件，若使它们按照设计要求进行预定的运动和工作，则需要在构件与构件之间，建立一定的可靠联系，也就是要有一定的可靠限制。

一、约束及约束反力

一个可以在空间作任意运动的物体（如构件），可称其为自由体。对一个自由体，若用一个原点为 O 的空间直角坐标系对其进行观察和分析，则该自由体可能产生的运动，将有三个分别绕互垂坐标轴 x 、 y 、 z 的转动，和三个沿 x 、 y 、 z 轴的移动，如图1—4(d)。我们把物体可能产生的这六种运动，称为该物体的六个自由度。若通过一定的限制，使物体只能在一个平面（如 Oxy 平面）内运动，则它将只能产生一个绕垂直于此平面的坐标轴（ z 轴）的转动，和两个沿位于此平面上互垂坐标轴（ x 、 y 轴）的移动。即此物体将只有三个自由度。

这里我们主要讨论的是作平面运动的物体，即上述具有三个自由度的构件。

一个物体的运动，若受到与其相接触或相联接物体的某种制约，我们就把这种制约称为对该运动物体的约束。例如：绳索吊起重物，绳索就是对重物的约束；火车在钢轨上运行，钢轨就是对火车的约束；转轴在轴承内转动，轴承就是对转轴的约束等。

固定在机架或地面上的约束又称为支承，如钢轨和轴承。它们是通过所产生的约束反力或支承反力来限制或改变物体运动状态的。作用于物体，使物体产生运动或运动趋势的力，称为主动力，这是一种已知外力；而约束反力或支承反力，即称为被动力，它是由已知外力决定的未知外力，它也可以表现为对运动构件的阻力。

约束或支承有多种类型，对于平面运动的构件或零件，常见的约束或支承有如下几种：

1. 固定约束 完全限制构件运动的约束。如机床卡盘卡住被加工的工件，如图1—4(a)，地脚螺栓固定住机座等。

2. 固定铰链约束（简称固定铰） 限制移动，不限制转动的约束。如图1—4(b) B 端的止推轴承或轴承与轴挡组合等，它们是约束轴只能转动，不能有径向跳动和轴向窜动。

3. 活动铰链约束（简称活动铰） 只限制某一个方向的移动，而不限制另一互垂方向的移动和转动的约束。如图1—4(b) A 端径向滚动轴承或滑动轴承对转轴的约束等。

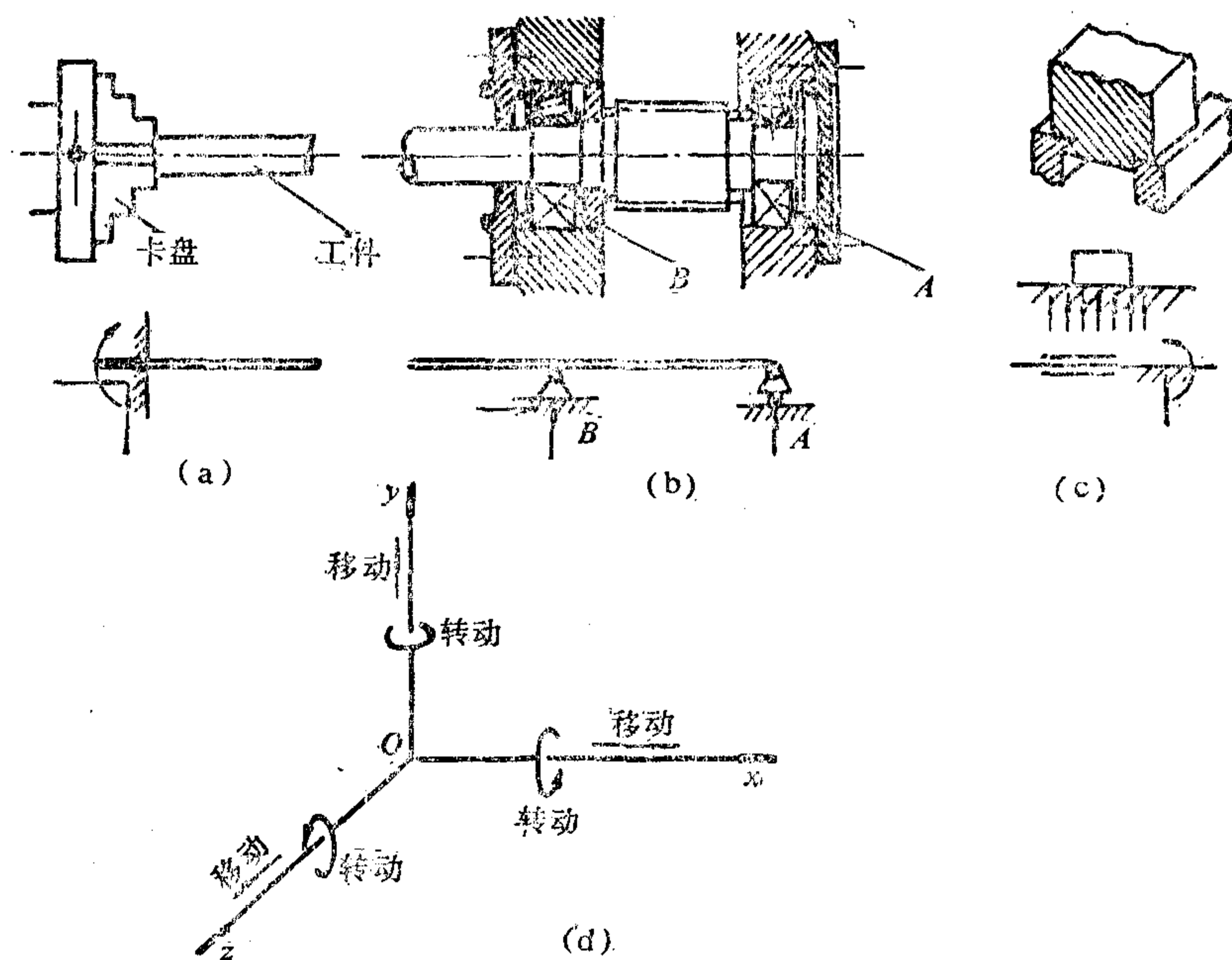


图 1—4

4.光滑平面约束 只允许物体在某一个方向作移动的约束。如机床上的燕尾槽或导轨对运动件的约束，如图1—4(c)。

为了便于分析和描述问题，工程上常把各种约束用简化的符号来表示，如图1—4所示下图即为对应于上图的简化符号图。对不同约束的约束反力，在图1—4的各简化符号图上也作了表示，这里不再赘述。

二、运动副、运动链和机构自由度

机械或机构都是由若干个相互联接起来的构件所组成。这种联接是两构件之间通过接触作相对运动的可动联接。如轴与轴承、凸轮与推杆以及齿轮与齿轮等所构成的联接。工程上把这种联接称为运动副。在平面运动中的运动副，称为平面运动副。运动副所联接的构件，是通过它们之间的接触来作相对运动的，而其接触形式不外乎点接触、线接触和面接触三种。对于点接触和线接触的运动副，称之为高副。如球轴承中滚珠与内、外圈的接触，即为点接触，齿轮与齿轮的接触，即为线接触。对于面接触的运动副，称为低副。如滑块或移动件与滑轨或导槽的接触，即为面接触的低副。

另外，从相对运动的情况看，还可以把只作相对平移滑动的运动副，称为移动副（如滑块与滑轨运动副）；把只作相对转动的运动副，称为回转副（如轴与轴承运动副）。

运动副与约束（或支承）应当是两个不同的概念，但从运动副在联接接触中所起的相互制约作用看，它与约束却又有着关联。因为只要把运动副所联接的某一方（件）看作为固定不动（如固定在机座上的轴承和滑轨），那么这些不动件就成为对运动副中另一方（件）（如轴和滑块）的约束，也就会产生约束反力。一般来说，约束是对构件运动的限制。不同的运动副即对所联接的构件有不同的约束限制作用。这种限制作用是相互之间的，它并不只限于固定在机架上的支承。

由于机械上的各种机构其外形结构往往比较复杂，但是机构的各构件间的相对运动状况，却与机构的外形结构状况（如外形形状、断面情况、构件所含零件情况以及其它具体结构情况等）无关。亦即在分析相对运动状况时，不需要去具体描绘其外形结构，而只需要用简单的符号和线条表示其所含运动副的类型、数目、相对位置和由运动副所联接构件的数目，就可以描述一个机构和与其相关机构的运动状况。

图1—5所示为不同的移动副代表符号，图中1为滑块或滑动件，2为导杆或导轨。此时运动件即只具有一个移动的自由度。

图1—6所示为回转副的代表符号，只用一个小圆圈来表示回转副。图中表示构件2相对构件1作转动。此时活动件即只有一个转动的自由度。

图1—7(a)、(b)所示，为凸轮、齿轮等高副及其传动所用的代表符号和简图。此时在接触点（线）处，只在曲线（面）法线方向的移动受到约束，而对切线方向的移动和绕接触点（线）的转动，则没有约束作用，故此时有两个自由度。

对机械或机械中各构件之间的联接和相对运动关系，均可以用简单线条和代表符号作简图来描述。图1—8(a)即描述了图1—1所示内燃机连杆、活塞机构的运动简图；图1—8(b)即描述了图1—2所示牛头刨床齿轮传动和滑块、导杆机构以及刨头的运动简图。机构运动简图所用符号详见附录Ⅳ（GB4460—84）。

由两个以上构件以运动副联接成一个系统，即称为运动链。最常见的运动链是联接成一

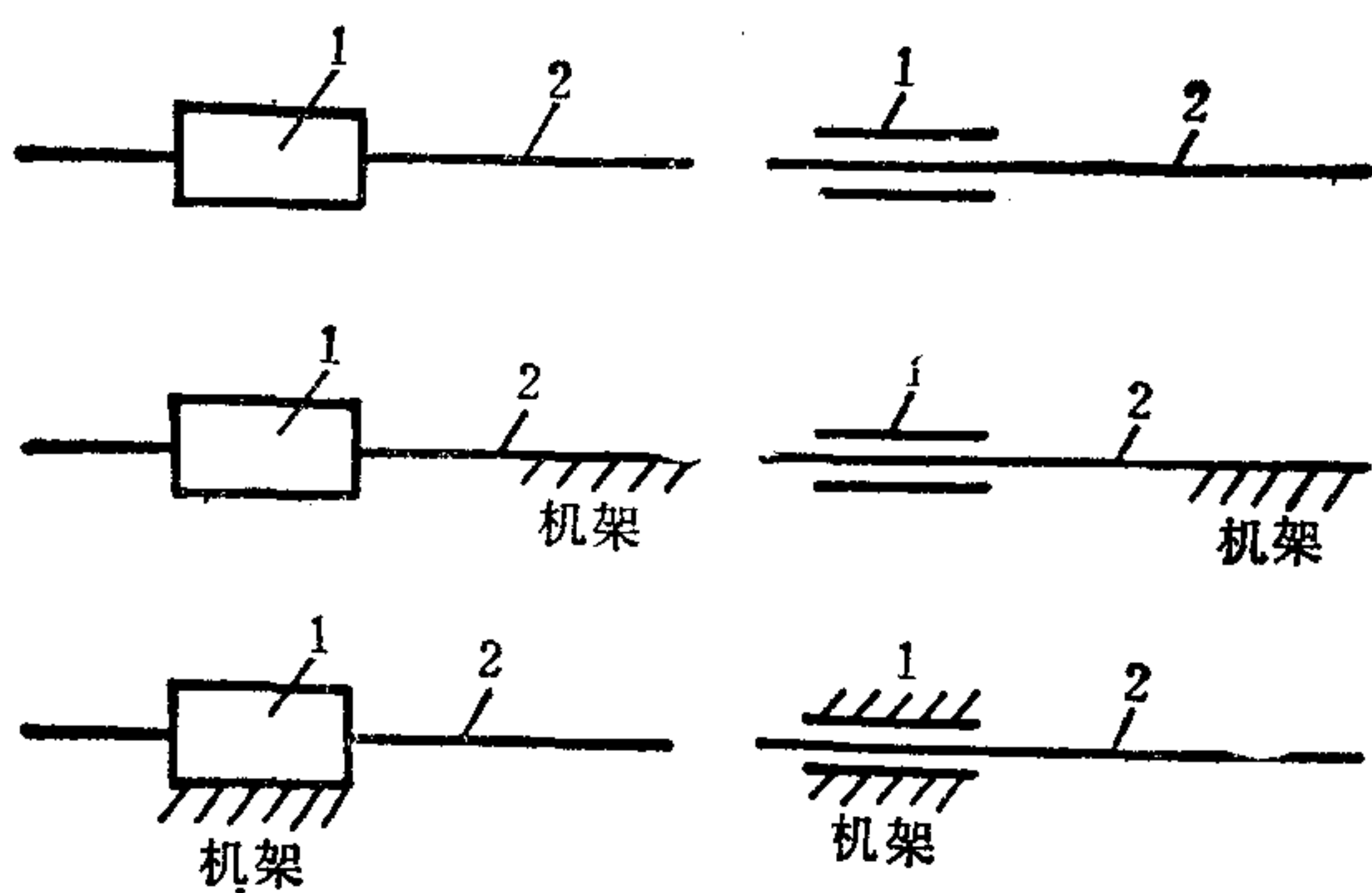


图 1—5

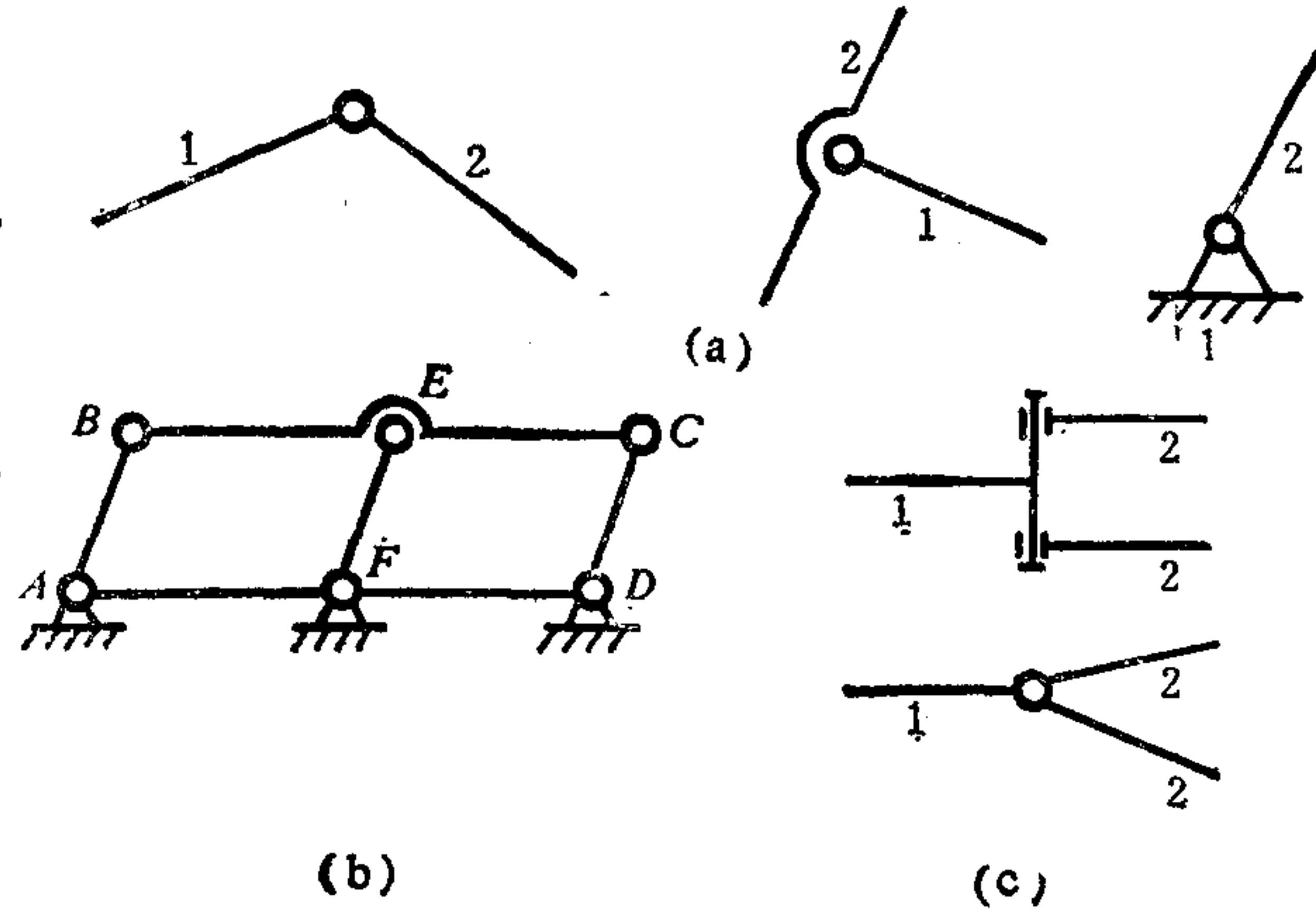


图 1—6

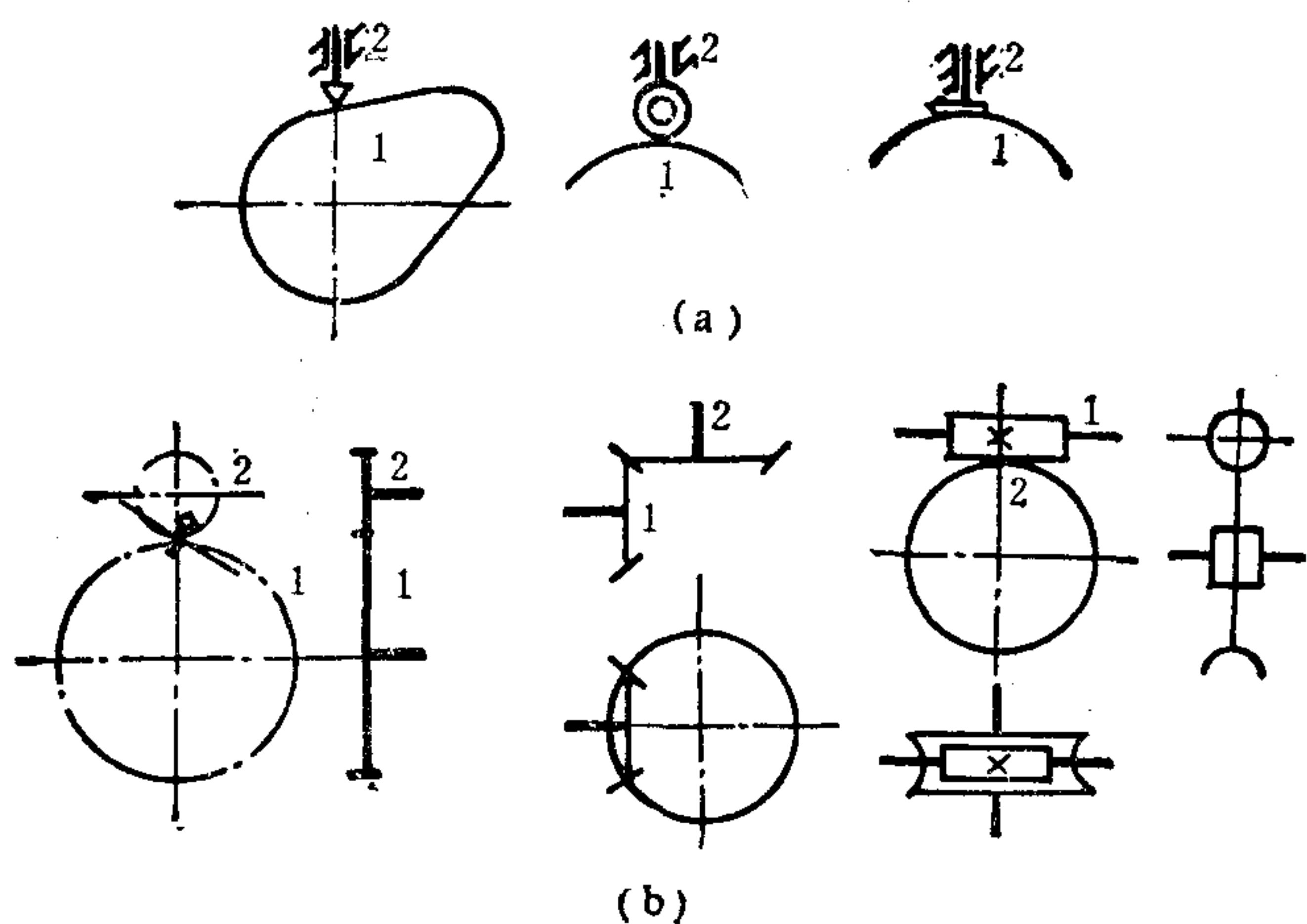


图 1—7

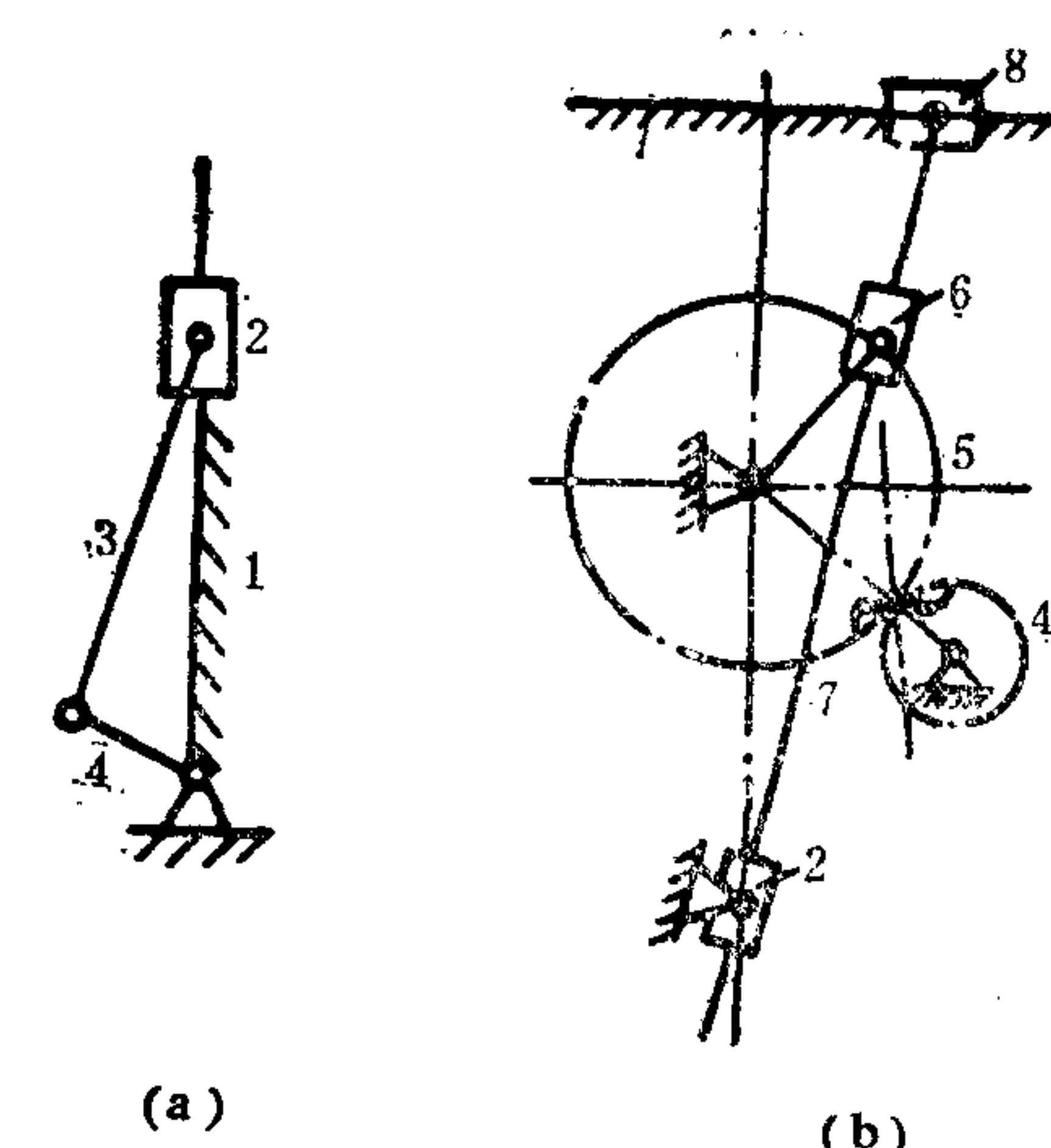


图 1—8

个闭合系统的运动链，简称为闭式链。构成闭式链的每个构件，必须至少有两个运动副。如图1—8 (a) 所示活塞、连杆系统，滑块 2（即活塞）与滑轨 1（机架上的气缸）的移动副和与连杆 3 由活塞销构成的回转副，连杆 3 又与曲柄 4 由回转副相接，而曲柄 4 的轴颈又与机架上的轴承构成回转副相接，机架 1 也作为一件，其一端为移动副与活塞 2 相接，另一端通过轴承以回转副与曲柄相接，从而构成一个闭式链。

机构即是具有一个固定构件且各构件间有确定相对运动规律的运动链。运动链中如果有一个构件为机架，如图1—8 (a) 中的机架 1，则此运动链的运动自由度就受到了限制。由前面对自由度和运动副的讨论可知，一个作平面运动的构件具有三个自由度，有 k 个活动构件的运动链，在其未以运动副联接前，它们共有 $3k$ 个自由度。以运动副联接成运动链后，一个低副会限制构件的两个自由度，一个高副会限制构件的一个自由度。若由 k 个活动构件，以 P_L 个低副和 P_H 个高副构成一运动链后，则其相对于机架的自由度的数目，即机构的自由度为

$$F = 3k - 2P_L - P_H \quad (1-1)$$

如图1—8a所示闭式链机构，其活动件为 2、3、4，即 $k=3$ ；有三个回转副（低副）和一

个移动副（低副），即 $P_L = 4$ ，由式（1—1）可得此机构的自由度数 F 为

$$F = 3 \times 3 - 2 \times 4 - 0 = 1$$

即此机构只有一个自由度。式（1—1）即为计算平面运动机构自由度的公式。

机构中的构件可分为原动件、从动件和固定件三种。其中原动件是由外界给以确定运动规律的活动件，它的运动是独立的，又称为机构中的主动件或输入构件〔图1—8(a)中的活塞〕。其中从动件是随原动件运动而运动的被动件〔图1—8(a)中的连杆、曲柄〕。图1—8(a)中的机架1即为固定件。机构中原动件的数目必须等于机构的自由度，机构各构件才有确定的相对运动。亦即具有一个自由度，即其 $F = 1$ ，则需要有1个原动件。若经式（1—1）计算 $F > 1$ ，而只有一个原动件则说明各构件的相对运动为不确定，若 $F = 0$ ，则各构件将不能运动，这都不是我们所定义的机构。若平面机构有两个原动件，则应有两个自由度（ $F = 2$ ）。若由式（1—1）计算出 $F > 2$ ，同样其运动是不确定的，若 $F < 2$ ，则此机构将不可能有运动或者会引起破坏。因此，机构的自由度必须要大于零，且与原动件数目相等。

在计算平面机构的自由度时，必须注意机构中的复合铰链、局部自由度和虚约束。

复合铰链是 n 个（两个以上）构件在同一轴线上以回转副相接，即成为复合铰链，如图1—6(c)。这样其回转副的数目总比构件数 n 少一个，即有 $n - 1$ 个回转副。

局部自由度是与机构运动无关的自由度。如图1—7中凸轮的推杆2一端的滚轮，它由销钉与推杆形成回转副，但它的转动对推杆的运动并无影响，故计算自由度时应将其排除不计，即在得到的自由度数中减去局部自由度数目。

虚约束是在机构中存在的“多余”约束，它对机构自由度的影响是重复的。如图1—6(b)所示由回转副联接而成的平行四边形机构，从机构所具有的确运动来看，其构件EF是否存在对其运动均无影响，EF两端的回转副即为虚约束。在计算机构自由度时，应当将构件EF和运动副E、F排除不计。

第四节 刚体和变形固体

机械上的每个零件其基本作用均是传递力，也就是承受载荷作用。所谓载荷，就是对各种形式和性质的力的总称。例如在不同作用形式上，有通过微小面积作用的集中力，可称其为集中载荷；有作用在一块面积或一个线段长度上的分布力，可称其为分布载荷。若其分布是均匀的，则可称为均布载荷。又如在作用性质上，有可以略去其速度变化不计的静载荷，也有必须考虑其加速度影响的动载荷，还有反复交替变化作用的交变载荷等。

为使零件能承受载荷作用，它们都需要由适用的固体材料制造。而任何固体材料，在载荷作用下都会产生变形（乃至发生破坏）。但在通常情况下，受载零件的这种变形是远远小于其原始尺寸。因此，在研究受载零件（或构件）的平衡和运动时，一般均略去不计这种变形的影响，而按变形前的原始几何尺寸进行分析计算。在这里既然对受载变形均不考虑，自然更不会涉及破坏问题。所以在研究零件或构件的平衡和运动问题时，可把它们看作是既不会变形又不会破坏的刚性物体，简称为刚体。

力对刚体的作用，其效果并不因力在其作用线上的位置变化而不同。例如在平地上推车或拉车，只要推力和拉力是在同一作用线上，其在车后推和在车前拉所用力的会是一样的。这就是说，在研究刚体平衡时，刚体上的作用力可以在其作用线上进行滑移，而不会改

变其作用效果。

把构件等真实物体视为刚体，是为了把研究对象抽象概括为一个理想的模型，使问题得到简化，便于解决。这也是在工程计算和科学研究中经常采用的方法。不过，在这里对真实受力物体简化为刚体是有条件的，即只限于分析研究物体的平衡和运动状态，而不能涉及变形、破坏等与物体自身性质有关的问题。

关于构件的变形和破坏问题，也是本课程要研究的一个重要内容，所以在很多情况下，除采用刚体的假设分析求解平衡问题外，还要把构件和零件看作是可以变形，甚至是可以发生破坏的变形固体。但是，由于制造零件的材料是多种多样的，不同材料的性质和内部结构也是有差别的。为了在研究它们的变形或破坏问题时得到必要的和科学的简化，以便于问题的解决，我们还需要把这些变形固体材料进行抽象概括，也就要对它们作出如下的简化假设。

(1) 均匀连续假设 认为变形固体的机械性质在固体内部各处都是一样的；而且这种机械性质相同的物质，毫无空隙地充满整个物体的几何容积。总括来说，就是把各种制造零件的材料均看作性质均匀的密实体。

(2) 各向同性假设 认为变形固体在各个方向上都具有相同的机械性质。我们把具有这种属性的材料，即称之为各向同性材料。

就工程上和机械上使用最多的金属材料来说，组成金属材料的晶体之间并不是连续的；从各个单晶来看，其性质也具有明显的方向性。但从零件的整体来说，它们所包含的晶体数量极多，晶体尺寸及晶界间隙与零件的外廓尺寸相比则显得极小；而晶体排列在零件内的方位又是无规则的，所以其材料性质是来自所含各晶体性质的统计平均数。因此可以认为上述两个假设是成立的。实践也证明，在设计计算和工程实验中，根据所要求的精确度范围，按这两个假设所得到的结果是可以满足的。

(3) 小变形条件 在构件的力学分析和平衡计算中，一般都是按微小变形的情况进行（如前述刚体假设），即认为受载后所形成的平衡状态，其变形对原有几何尺寸的影响，可以忽略不计。所以在今后我们所讨论的问题中，除遵循前两个假设外，还要附加上一个微小变形的条件。

各种固体材料的变形，一般都有两种性质的变形：一种是在一定载荷大小范围内所产生的弹性变形。这是一种在载荷去掉后可以完全自行恢复的变形。本课程讨论的问题，主要是在这种变形范围以内的问题。另一种性质的变形，则是在载荷超过某个范围后（即弹性变形范围），材料将会伴随弹性变形产生一种塑性变形（又称为残余变形）。这是一种完全不能恢复的变形，是一般工程上或机械上不允许产生的变形，也是一种被认为已使零件达到破坏状态（即丧失工作能力）的变形。本课程对处于这种变形状态下的构件，将不作讨论。

第五节 强度、刚度及稳定性概念

工程上和机械上的任何零件，必须满足强度、刚度及稳定性的要求，它们才能安全可靠、准确无误地完成它们所承担的任务。

所谓强度，是指零件在承受规定的载荷作用时，不能发生破坏。也就是要求它们必须具有一定的抵抗破坏的能力。这种能力就称其为零件的强度。当零件承受的载荷超过了它的这

种能力，零件就会发生破坏，从而使机械不能正常工作，乃至造成严重后果。如因某个重要零件破坏而造成飞机失事，或因某个控制零件破坏造成机械失控，酿成人身伤亡恶果等。

所谓刚度，是指在载荷作用下，零件必须具有一定的抵抗弹性变形的能力，使零件不能超过规定的变形。零件抵抗弹性变形的能力，即称为零件的刚度。零件如果超过了对它规定的变形，也会对机械或机构造成重大影响。如传动轴若产生超过规定的变形，在传动中就会产生撞击和振动现象，并会引起严重磨损，从而使整个机械运转不正常，并降低使用寿命。又如精密机械或仪器设备，则会因某个重要零件刚度不够，产生了过大的变形，而造成整台机械或设备的报废。

所谓稳定性，是指零件在承受规定的载荷时，能稳固地保持它原有的平衡状态。也就是说，零件在工作中，如果受到意外的干扰，也能保持其原有的形态。零件的稳定性是代表了零件的一种承载能力。是由零件自身的条件所决定的。零件的材料、断面、长短以及约束情况确定了，则它的承载能力也就确定了。如果载荷超过了零件的这种承载能力，就会在稍有意外干扰时，突然失去其原有的平衡状态。这是一种十分严重的破坏状态。我们把这种状态即称为丧失稳定，简称为失稳。本课程将讨论简单受压杆件（如起重千斤顶、发动机气门挺杆和各种受压的支承立柱等）的稳定性问题。

综上所述，对工程上和机械上各种零件或构件的基本要求，就是必须具有足够的强度、刚度和稳定性。当然，在进行零件或构件的选择或设计时，还应当考虑到使用寿命的要求、便于生产制造的工艺性要求以及成本低廉的经济性要求等。

第六节 内力、应力及应变

在分析研究零件和构件的强度、刚度和稳定性等问题时，我们将会用到内力、应力及应变等概念。现在先把它们介绍如下。

一、内 力

在零件受到外力作用而产生变形时，则其内部各分子间的距离将彼此远离或靠近。这样，在各分子间原来用以保持其固体形态的内力（吸引力或排斥力），就会发生改变。这种因外力作用而引起原有内力的改变量，是一种抵抗分子远离或靠近（即变形）的附加内力，我们把这种附加内力即简称为内力。

这里所说的内力是一个总称，或者说它是广义的，既可以是力，也可以是力偶（矩）。

为了便于表示和分析内力的形式和大小，我们可以在受力零件上假想切开一个截面，把此截面上的内力显现出来。这种用假想截面显现内力，并取零件假想切开后任意一半的平衡以求内力的方法，称为截面法。其所取截面一般为垂直于零件轴线的横截面。

内力是相应于变形产生的，其在零件截面上可能的表现形式有以下四种：

1. 平行于轴线（垂直于截面）、使相邻截面远离或靠近的内力，即拉内力或压内力，统称为轴向力，简称轴力。用 N 表示。

2. 平行于截面、使相邻截面相对错动的内力，即剪切力，简称为剪力。用 Q 表示。

3. 绕轴线转动的力偶（矩），是使截面绕轴线转动的内力偶（矩）。简称为扭矩，用 M 表示。